УДК 550.42:577.4(571.1)

ГЕОХИМИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БАССЕЙНА Р. КАТУНЬ В ЕЕ СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ

Ю.Ю. Лоханова, Н.М. Рассказов

Томский политехнический университет
E-mail: Julia-tomsk2004@rambler.ru

Приведена характеристика распределения по химическому составу подземных вод бассейна р. Катунь (Горный Алтай), дана оценка степени их насыщенности ионами Ca, Fe и Mg по отношению к минералам этих элементов. Выделены геохимические типы вод. Описаны основные формы миграции химических элементов: Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}.

Введение

Исследование геохимических особенностей подземных вод необходимо для оценки форм миграции химических элементов и определения степени их насыщенности по отношению к карбонатам: кальциту, доломиту и сидериту; в связи с этим проведено их комплексное гидрогеохимическое опробование применительно к основным водоносным подразделениям, образующим единую гидрогеологическую систему бассейна р. Катунь (Горный Алтай). Опробованы родники, наблюдательные скважины режимной сети в соответствии со всеми необходимыми требованиями, включая пробоподготовку, консервирование и хранение проб, а также полевые химические анализы. Всего проанализировано 355 проб воды, отобранных за период с 1983 по 2005 гг. (рис. 1).

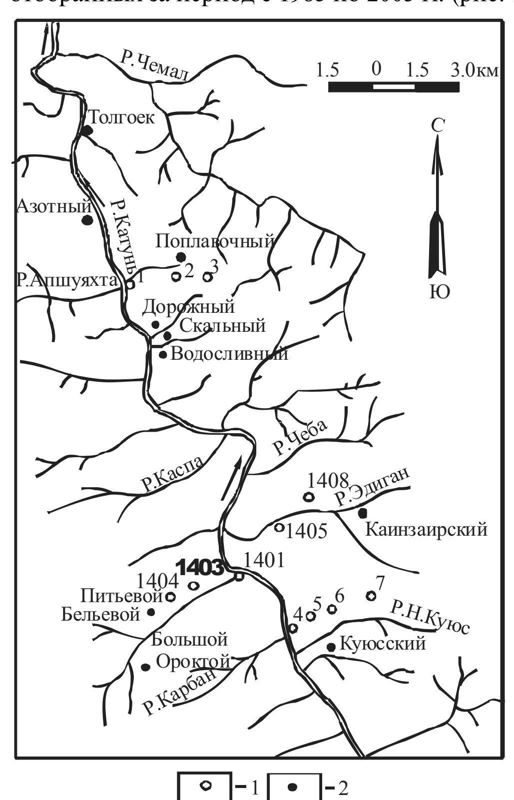


Рис. 1. *Карта фактического материала: 1) наблюдательные (режимные) гидрогеологические скважины; 2) родники и их номера*

Целью данной работы является обобщение результатов проведенных исследований в регионе, оценка степени насыщенности подземных вод по отношению к основным карбонатам, выделение главных форм миграции элементов, закономерностей распространения геохимических типов вод.

Достижение поставленной цели основывается на данных о содержании элементов в водах в разные годы, расчетах активностей компонентов; выделении геохимических типов вод; систематизации полученной информации и ее анализе.

Материалом для исследований явились данные, полученные в результате опробования водных объектов в регионе, которые производились сотрудниками Объединенного института геологии, геофизики и минералогии СО РАН (1983–1996 гг.), а затем Томским филиалом Института геологии, нефти и газа СО РАН и сотрудниками Томского политехнического университета с участием авторов (1997–2005 гг.) [1, 2].

Основные направления долины р. Катунь – северо-западное, северное и широтное [3, 4]. Интервал опробования в скважинах в основном составляет до 100 м от дневной поверхности (максимальная глубина скважин 160 м).

Величина подземного стока, выраженная в единицах модуля подземного стока, составляет 3,2...4,0 л/с·км^2. Приточность находятся в пределах 0,1...0,4 км^3/год [5].

Подземные воды рассматриваемой территории повсеместно пресные с минерализацией 70...700 мг/л, как правило, нейтральные или слабощелочные рН 7,0...8,8, по составу гидрокарбонатные кальциевые.

В результате проведенных химико-аналитических работ, выполненных в проблемной гидрогеохимической лаборатории ТПУ, были получены данные по значению величины общей минерализации подземных вод за период с 1989 по 2005 гг., в 12 скважинах, при анализе которых выявлена ее взаимосвязь с отметками рельефа: она увеличивается по мере снижения интенсивности водообмена, уменьшающейся от горных районов к равнине.

Химический состав подземных вод бассейна среднего течения р. Катунь

Макрокомпоненты. В результате выполненного анализа выделены средние статистические характеристики содержаний компонентов *общего химиче-*

Таблица 1. *Средние концентрации макрокомпонентов подземных вод бассейна среднего течения р. Катунь (исходные данные ТПУ и ТФ ИГНГ СО РАН, представлены: В.С. Кусковским и Н.М. Рассказовым, 1989–2001 гг.; О.Г. Савичевым, 1999 г.; Е.А. Жуковской, 2002 г.; Е.В. Домрочевой, 2003–2005 гг.), мг/л*

№№	Место отбора	Период наблюдений с 1989 по	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^{+}+K^{+}$	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	Кол-во набл.
Воды трещинные в коренных породах									
1	1-Р "Толгоек"	2005	49,47	13,08	9,11	243,72	7,80	5,02	19
2	3-Р "Дорожный"	2005	46,39	19,68	7,17	250,97	18,82	0,51	20
3	4-Р "Скальный"	2005	52,02	20,69	8,38	277,49	14,61	1,32	18
4	5-Р "Поплавочный"	1991	36,50	18,74	5,96	227,88	13,16	0,46	9
5	6-Р "Каинзаринский"	2005	45,39	9,93	8,28	193,73	21,01	1,50	21
6	Скв. 1	2005	50,07	23,66	37,59	209,68	89,97	26,20	20
7	Скв. 2	1996	45,42	22,40	11,26	250,34	24,83	3,24	15
8	Скв. 3	1991	43,95	31,25	17,95	264,63	96,20	2,99	8
9	Скв. 5	1991	17,83	9,95	11,90	172,00	17,25	4,07	7
10	Скв. 6	1993	33,25	10,93	24,23	123,51	48,42	3,28	15
11	Скв. 7	1993	23,11	13,81	41,23	189,79	43,69	19,04	26
12	Скв. 1401	1992	43,80	6,76	10,55	165,40	12,77	1,64	11
13	Скв. 1403	1992	11,40	7,18	8,47	133,33	5,03	2,34	10
14	Скв. 1404	1992	46,73	12,18	12,40	247,05	16,78	1,62	10
15	Скв. 1408	1993	35,15	6,58	13,63	156,60	19,97	2,70	11
Воды поровые в аллювиальных отложениях									
16	7-Р "Питьевой"	2005	69,76	9,99	10,29	263,26	11,41	0,74	14
17	8-Р "Бельевой"	2005	71,47	8,64	9,95	274,77	8,22	1,08	14
18	13-Р "Куюсский"	2005	44,16	10,11	7,84	205,49	9,92	0,87	18
19	2-Р "Водосливный"	2005	52,63	11,97	5,39	215,17	27,02	1,06	20
20	Скв. 4	1993	28,23	13,78	11,93	197,82	14,37	2,90	14
21	Скв. 1405	1999	28,34	4,95	6,5	130,12	4,78	1,06	17

Примечание: 1-Р – 8-Р, 13-Р – родники

ского состава подземных вод каждого водопункта за период с 1989 по 2005 гг.; полученные данные разделены по типам вод: трещинные в коренных породах и поровые в аллювиальных отложениях (табл. 1).

Поровые воды в аллювиальных отложениях, по сравнению с трещинными, являются более минерализованными и имеют несколько повышенную температуру.

Таблица 2. *Средние концентрации микрокомпонентов в подземных водах региона (исходные данные ТПУ и ТФ ИГНГ СО РАН, представлены: F^{-}, Al^{3-}, Hg^{2+} – В.С. Кусковским и Н.М. Рассказовым, 1989–2001 гг.; Cd^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, F^{-}, Al^{3} – О.Г. Савичевым, 1999 г.; Li^{+}, Sr^{2+}, Mn^{5+}, Cd^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, F^{-}, Al^{3} – Е.В. Домрочевой, 2003–2005 гг.), мг/л**

Пункты наблюдений (см. табл.1)	F^{-}	Al^{3-}	$Hg^{2+}n\cdot10^{3-}$	Cd^{2+}	Pb^{2+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Li^{+}	Sr^{2+}	Mn^{5+}
Воды трещинные в коренных породах										
1	0,23(4)	0,22(5)	0,03(11)	0,0001(2)	0,001(2)	0,001(2)	0,01(2)	0,001(2)	0,46(2)	0,04(2)
2	0,15(3)	0,20(3)	0,02(12)	0,0001(1)	0,001(1)	0,001(1)	0,01(1)	0,001(1)	0,74(1)	0,01(1)
3	0,56(3)	0,60(3)	0,04(10)	0,0005(2)	0,002(2)	0,0035(2)	0,02(2)	0,001(2)	0,92(2)	0,01(2)
4	0,15(3)	0,20(3)	0,04(11)	–	–	–	–	–	–	–
5	0,40(3)	0,50(3)	0,03(8)	0,0005(2)	0,005(2)	0,005(2)	0,01(2)	0,001(2)	0,29(2)	0,01(2)
6	0,12(5)	0,30(5)	0,08(12)	–	–	–	–	–	–	–
7	0,16(5)	0,30(5)	0,03(14)	–	–	–	–	–	–	–
8	0,29(2)	0,80(2)	0,02(6)	–	–	–	–	–	–	–
9	–	–	0,01(6)	–	–	–	–	–	–	–
10	0,23(9)	0,20(9)	0,02(14)	–	–	–	–	–	–	–
11	0,57(8)	0,60(8)	0,06(16)	–	–	–	–	–	–	–
12	0,11(5)	0,70(5)	0,06(13)	–	–	–	–	–	–	–
13	0,14(2)	0,40(2)	0,01(12)	–	–	–	–	–	–	–
14	0,28(2)	0,30(2)	0,01(9)	–	–	–	–	–	–	–
15	0,13(2)	0,28(2)	0,01(10)	–	–	–	–	–	–	–
Воды поровые в аллювиальных отложениях										
16	0,21(4)	0,10(5)	0,03(11)	0,0005(2)	0,005(2)	0,001(2)	0,26(2)	0,001(2)	0,31(2)	0,04(2)
17	0,21(2)	0,20(3)	0,05(10)	0,0001(1)	0,001(1)	0,001(1)	0,01(1)	0,001(1)	0,32(1)	0,01(1)
18	0,21(2)	0,20(2)	0,01(9)	0,0001(1)	0,001(1)	0,001(1)	0,01(1)	0,001(1)	0,30(1)	0,01(1)
19	0,19(3)	0,40(4)	0,01(12)	0,0005(2)	0,001(2)	0,004(2)	0,09(2)	0,001(2)	0,30(2)	0,02(2)
20	0,19(5)	0,30(5)	0,02(14)	–	–	–	–	–	–	–
21	0,19(7)	0,70(7)	0,04(15)	0,0001(1)	0,001(1)	0,028(1)	0,01(1)	–	–	–

**в скобках – количество определений за период наблюдений*

Таблица 3. *Содержание биогенных компонентов в подземных водах бассейна среднего течения р. Катунь (исходные данные ТПУ и ТФ ИГНГ СО РАН, представлены: $Fe_{общ}$ – В.С. Кусковским и Н.М. Рассказовым, 1989–2001 гг.; $(PO_4)_3^-$, NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+ – О.Г. Савичевым, 1999 г.; NH_4^+, $Fe_{общ}$, NH_4^+ – Е.А. Жуковской, 2002 г.; $Fe_{общ}$ – Е.В. Домрочевой, 2003–2005 гг.), мг/л*

Пункты наблюдений (см. табл. 1)	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	$(PO_4)_3^-$	Si	$Fe_{общ}$
Воды трещинные в коренных породах						
1	9,6(1)	0,01(2)	0,05(2)	0,02(1)	6,17(4)	0,59(12)
2	–	0,01(1)	0,01(1)	–	5,23(3)	0,23(11)
3	8,28(1)	0,01(2)	0,05(2)	0,03(1)	4,59(3)	0,16(11)
4	–	–	–	–	5,5(3)	0,07(8)
5	2,64(1)	0,01(2)	0,05(2)	0,04(1)	4,94(3)	0,15(11)
6	–	–	–	–	1,88(5)	0,28(10)
7	–	–	–	–	4,12(5)	0,44(10)
8	–	–	–	–	3,85(2)	0,08(4)
9	–	–	–	–	–	0,14(2)
10	–	–	–	–	1,5(7)	0,78(11)
11	–	–	–	–	1,71(8)	0,18(17)
12	–	–	–	–	4,6(5)	0,09(7)
13	–	–	–	–	1,95(2)	0,1(4)
14	–	–	–	–	5,75(2)	0,14(4)
15	–	–	–	–	2,8(2)	1,72(6)
Воды поровые в аллювиальных отложениях						
16	7,44(1)	0,05(2)	0,06(2)	0,02(1)	4,48(4)	0,1(12)
17	–	0,01(1)	0,1(1)	–	5,7(2)	0,07(8)
18	–	0,01(1)	0,1(1)	–	5,5(1)	0,09(7)
19	3,84(2)	0,01(1)	0,1(2)	0,02(1)	6,53(1)	0,08(12)
20	–	–	–	–	1,76(5)	0,59(9)
21	–	–	–	–	1,44(8)	0,42(12)

Микрокомпоненты. Анализ данных позволяет установить, что содержания практически всех изученных микрокомпонентов подвержены очень значительным колебаниям (табл. 2).

Элементы, выделяемые по геохимической классификации [6], можно отнести к категории *циклических*. Исключение составляет Li^+ – он принадлежит к рассеянным элементам. Отмечается резкое увеличение содержаний иона F^- (0,4 мг/л) в нижнем створе (6-Р «Каинзаринский»). При этом максимальные концентрации ряда металлов и средние содержания Mn приурочены к центральной части бассейна (4-Р «Скальный»).

Биогенные элементы – Si, P, N и Fe существенно отличаются друг от друга по уровню содержания в подземных водах характеризуемого региона (табл. 3). Самые высокие средние концентрации $Fe_{общ}$ и Si наблюдаются в верхнем створе (1-Р «Толгоек»); при этом отмечается уменьшение содержания NO_3^- одновременно с увеличением концентраций NH_4^+ и NO_2^- по направлению течения реки (табл. 3).

Органические вещества. По направлению движения реки наблюдается увеличение количества растворенных веществ, вероятно, это связано одновременно с увеличением соотношений $C_{орг}$ в растворенной и взвешенной формах [7].

Для подземных вод региона характерны повышенные концентрации нефтепродуктов в отдельных водопунктах, представляющие собой неполярные и малополярные углеводороды, растворимые в гексане и сорбирующиеся на оксиде алюминия (табл. 4).

Среди *растворенных газов* отмечено определенное увеличение средних содержаний CO_2 в водопунктах, расположенных вдоль направления долины (рис. 2).

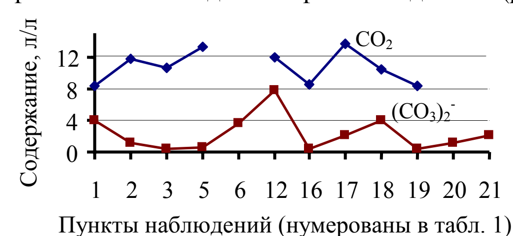


Рис. 2. *Содержание $CO_{2(св)}$ и $(CO_3)_2^-$ в подземных водах бассейна среднего течения р. Катунь*

Микроорганизмы. В рассматриваемом районе соотношение концентраций сапрофитных и олиготрофных бактерий уменьшается по мере распределения водных масс по направлению течения реки.

Взаимодействие воды с карбонатными породами

Нами изучено равновесие подземных вод относительно карбонатов (по методу Р.М. Гаррелса и Ч.Л. Крайста) [8]. На основании химического состава подземных вод (с учетом пластовых давлений, температур и ионной силы раствора) были рассчитаны концентрации (активности) компонентов с использованием программного комплекса HydrGeo, разработанного М.Б. Букаты [9].

Равновесие подземных вод бассейна среднего течения р. Катунь с карбонатами (кальцитом, доломитом, сидеритом) показано на рис. 3. Как вид-

Таблица 4. Содержание органических примесей в подземных водах бассейна среднего течения р. Катуни (исходные данные ТПУ и ТФ ИГНГ СО РАН, представлены О.Г. Савичевым, 1999 г.), мг/л

Наименование вещества	Пункты наблюдений (см. табл. 1)			
	Воды трещинные в коренных породах		Воды поровые в аллювиальных отложениях	
	№ 1	№ 3	№ 17	№ 19
Всего фталатов	0,012	0,008	0,011	0,016
в том числе:				
Дибутилфталат	0,003	0,007	0,007	0,002
Диоктилфталат	0,009	0,0007	0,003	0,013
Парафины:				
Всего парафинов	0,022	0,0003	0,005	0,004
Пристан	0,0002	0,00001	–	0,0003
Фитан	0,0002	0,0006	–	0,0001
Изопарафины	0,001	0,002	0,001	0,0004
Нафтены	0,002	0,001	0,0003	0,0001
Ароматические углеводороды:				
Всего алкилбензолов	0,005	0,009	0,008	0,003
Всего полициклических ароматических углеводородов	0,0001	0,0004	0,0003	0,00008
Всего ароматических углеводородов	0,005	0,01	0,008	0,003
Фенолы	0,00004	0,00002	0,00009	0,000007
Жирные карбоновые кислоты	0,002	0,002	0,0006	0,005
Олеиновая кислота	0,0002	–	–	0,003
Этиловые эфиры жирных кислот	0,0001	0,00002	0,0002	0,0001
Сумма хлорорганических веществ:	–	–	–	–
Фосфаты органические	0,00005	0,00003	0,0002	0,0001
Стерины	0,0008	–	–	–
Терпеновые соединения:				
Алкоксисоединения	0,0004	0,00046	0,0001	0,0001
Альдегиды	–	–	–	–
Спирты высшие	0,00007	–	–	–
Кетоны (алифатическме)	0,00007	–	–	–
Полиены	0,001	–	0,001	–

Таблица 5. Содержание микроорганизмов в подземных водах бассейна среднего течения р. Катуни (исходные данные ТПУ и ТФ ИГНГ СО РАН, представлены О.Г. Савичевым, 1999 г.), кл/мл

Пункты наблюдений (см. табл. 1)	Сапрофиты споровые	Олиготрофы	Уробактерии	Аммонифицирующие бактерии
Воды трещинные в коренных породах				
1	3500	52400	120	13500
3	820	3770	–	540
5	730	41300	–	240
Воды поровые в аллювиальных отложениях				
16	4000	41600	–	18000
19	100	33800	6230	5300
21	120	32300	320	280

но из этого рисунка, практически все точки различных типов подземных вод находятся в зоне насыщения карбонатами; так же следует отметить, что растворимость карбонатов с ростом температуры уменьшается, что сказывается на степени насыщенности природных вод карбонатами (рис. 3).

Геохимические типы подземных вод

Химический состав подземных вод бассейна среднего течения р. Катунь разнообразен, поэтому существует необходимость их систематизации. Принципиально новый подход в решении этого вопроса предложил С.Л. Шварцев [10]. Основываясь на принципах выделения геохимических типов вод в земной коре, положенных С.Л. Шварцевым, выделены следующие геохимические типы вод (табл. 6). Их распределение отражено на рис. 1.

Основные формы миграции элементов в водах региона

Для изучения форм миграции проводились термодинамические расчеты с использованием программного комплекса HydrGeo [9]. Оценивались формы миграции ряда макрокомпонентов (Na, Mg, Ca) и микрокомпонентов (Mn, Fe, Cu, Zn, Pb) (табл. 7).

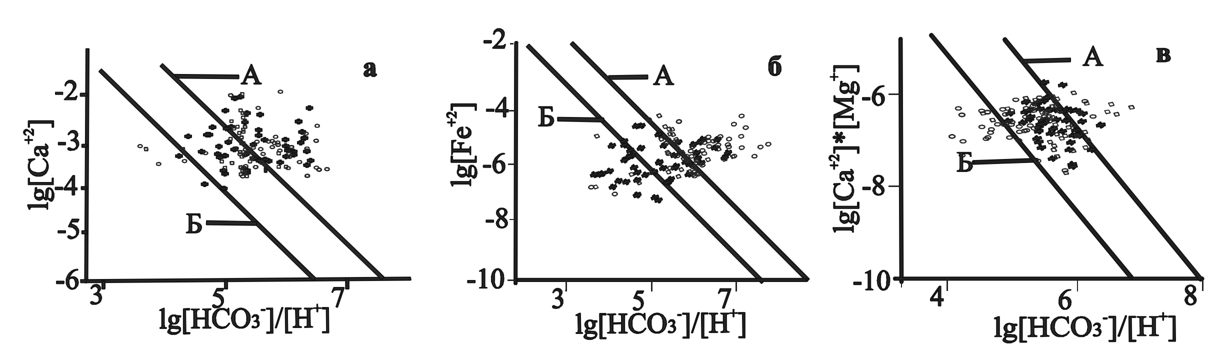


Рис. 3. *Диаграмма равновесия при: А) 22 и Б) 10 °С: а) кальцита; б) сидерита; в) доломита*

Таблица 6. *Геохимические типы подземных вод бассейна среднего течения р. Катунь*

Геохимические типы вод	Геохимический тип выветривания	Контролирующие показатели	Необходимое химическое условие	Характеристика подземных вод	Пункты наблюдений	
					Воды трещинные в коренных породах	Воды поровые в аллювиальных отложениях
Кислый железисто-алюминиевый	Латеритный	Al, Fe, Mn, pH	Равновесие с гидроксидами Al, Fe, Mn	Ультрапресные, кислые и слабокислые, окислительные, SiO_2<5 мг/л	Скв. 5–7, 1401, 1403, 1408, родник "Каинзаринский"	Скв. 4, 1405, родник "Куюсский"
Алюминиево-кремнистый	Моносиаллитньй	Al, Si, pH	Равновесие с каолинитом	Пресные, слабокислые и нейтральные, SiO_2>5 мг/л	Скв. 2, 1404, родники "Толгоек", "Дорожный", "Скальный", "Поплавочный"	Родник "Водосливный"
Кремнисто-Na (Ca-Mg-K-Fe)	Бисиаллитный	Si, Na, Mg, Ca, K, pH	Равновесие с минералами групп гидрослюд и монтмориллонитов	Пресные и солоноватые, нейтральные и слабощелочные, SiO_2 10...60 мг/л (в зависимости от pH и содержания катионов)	Скв. 1, 3	Родники "Питьевой", "Бельевой"

Таблица 7. *Формы миграции макрокомпонентов (Na, Mg, Ca) и микрокомпонентов (Mn, Fe, Cu, Zn, Pb) в подземных водах бассейна среднего течения р. Катунь*

Воды	Пункты наблюдений	Макро- и микрокомпоненты	
		Главные	Второстепенные
Трещинные в коренных породах	1-Р «Толгоек» 4-Р «Скальный» 5-Р «Поплавочный» 6-Р Каинзаринский»	Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{2+}, Zn^{2+},$(PbHCO_3)^+$, $(PbOH)^+$, Pb^{2+}, $(FeOH)_2^+$, $CuCO_3$	$(MgHCO_3)^+$, $(CaHCO_3)^+$, $(MnHCO_3)^+$, $MnCO_3$, $(FeHCO_3)^+$,$(CuHCO_3)^+$, $CuOH^+$, $(ZnHCO_3)^+$, $ZnCO_3$, Pb^{2+}, $PbCO_3$
Поровые в аллювиальных отложениях	2-Р «Водосливный» 7-Р «Питьевой» 8-Р «Бельевой» 13-Р «Куюсский»	Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{2+}, $CuCO_3$, $NaHSiO_3$, Zn^{2+}, $(PbHCO_3)^+$, $PbCO_3$, Pb^{2+}, Cu^{2+}, $(FeOH)_2^+$	$(MgHCO_3)^+$, $(CaHCO_3)^+$, $(MnHCO_3)^+$, $MnS0_4$, $(FeHCO_3)^+$, $Fe(HCO_3)^2$, $FeCO_3$,Cu^{2+}, $(CuHCO_3)^+$, $CuOH^+$, $(ZnHCO_3)^+$, $ZnCO_3$, Pb^{2+}, $(PbOH)^+$

Примечание: главные – доля которых более 25 %; второстепенные – 1...25 % от валового содержания.

Основные выводы

Выявлено, что в ряде скважин и родников минерализация подземных вод бассейна р. Катунь (Горный Алтай) понижается за счет повышения количества выпадающих атмосферных осадков в весеннее и осеннее время.

Установлено, что для рассматриваемого региона характерны различные геохимические типы подземных вод (кислый железисто-алюминиевый, алюминиево-кремнистый, кремнисто-натриевый (Ca-Mg-K-Fe).

Определена степень насыщения подземных вод по отношению к карбонатам ($CaCO_3$, $FeCO_3$, $CaMgCO_3$). Часть подземных вод некоторых геохимических типов находится в области пересыщения вод карбонатами.

Рассчитаны основные формы миграции макро- и микрокомпонентов – Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шварцев С.Л., Кусковский В.С., Савичев О.Г., Копылова Ю.Г., Лукин А.А., Домрочева Е.В. Эколого-геохимическое состояние подземных вод бассейна Катуни, используемых для хозяйственно-питьевых целей // Тенденции и перспективы развития гидрогеологии и инженерной геологии в условиях рыночной экономики России. VI Толстихинские чтения: Тез. докл. научно-методич. конф. / Санкт-Петербургский государственный институт (технический университет). – СПб., 1999. – 137 с.
2. Экогеохимия Западной Сибири. Тяжелые металлы и радионуклиды / РАН, Сиб. отд. Объед. Ин-т геологии, геофизики и минералогии; Науч. ред. чл.-кор. РАН Г.В. Поляков. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1996. – 248 с.
3. Катунь: экогеохимия ртути / Под ред. Н.А. Рослякова, В.С. Кусковского, Г.В. Нестеренко, С.Л. Шварцева и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1992. – 180 с.
4. Кусковский В.С. Влияние зарегулированного водоема на качество воды крупных водозаборов // Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов: Матер. Междунар. научн. конф. – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2005. – С. 365–367.
5. Шварцев С.Л., Воротников Б.А., Кусковский В.С. и др. Гидрогеохимические условия бассейна р. Катуни в зоне влияния проектируемого водохранилища // Катунский проект: проблемы экспертизы: Матер. к общ.-научн. конф. 13–14 апреля 1990 г. – Новосибирск, 1990. – Т. 1. – С. 62–63.
6. Вернадский В.И. История природных вод / Отв. ред. С.Л. Шварцев, Ф.Т. Яншина. – М.: Наука, 2003. – 750 с.
7. Варшал Г.М., Кащеева И.Я., Сироткина И.С. и др. Изучение органических веществ поверхностных вод и их взаимодействия с ионами металлов // Геохимия. – 1979. – № 4. – С. 598–607.
8. Зверев В.П. Роль подземных вод в миграции химических элементов. – М.: Недра, 1982. – 184 с.
9. Букаты М.Б. Геоинформационные системы и математическое моделирование. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – 75 с.
10. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – 2-е изд., исправл. и доп. – М.: Недра, 1998. – 366 с.

УДК 550.361:553.982